

# ***Explicación de la densidad de superficie construida de actividades, a partir de variables funcionales, utilizando econometría espacial, en el Area Metropolitana de Barcelona***

**Report de recerca N° 12**

**Diciembre 2012**

Jorge Cerda Troncoso  
[jcerdatupc@gmail.com](mailto:jcerdatupc@gmail.com)

Carlos Marmolejo Duarte  
[carlos.marmolejo@upc.edu](mailto:carlos.marmolejo@upc.edu)

## **1.- Introducció**

El problema que enfrenta originalmente esta investigación es detectar la relación entre la estructura locativa de actividades en el territorio, y el patrón de comportamiento espacial-temporal de la población en el desarrollo de las actividades cotidianas en la ciudad.

La funcionalidad cotidiana de las ciudades es un concepto que actualmente no existe como tal en la literatura científica, y por ende su método de caracterización y/o cuantificación aún no está estructurado. Por esta razón, se ha creado una metodología de procesamiento de la información de actividades cotidianas de la población, así como las fuentes de información, la que se puede consultar en artículos anteriores [1][2]. Pero a modo de síntesis, se puede decir que es un procesamiento basado en el enfoque de cadena de viaje y de geografía del tiempo, de encuestas domiciliarias de viajes de áreas metropolitanas. En este caso se aplicó la metodología a las Encuestas de Movilidad Cotidiana de la Región Metropolitana de Barcelona, de los años 2001 y 2006.

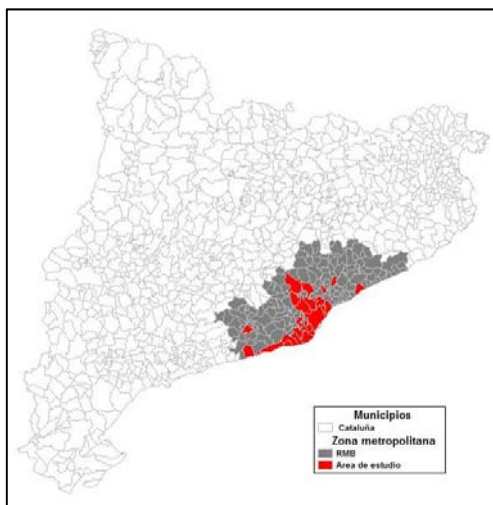
Finalmente, para medir el efecto de los distintos factores que impone el comportamiento de los usuarios a los distintos territorios, en la explicación de la estructura locativa de la superficie construida por actividad, se utilizaron modelos econométricos espaciales para explicar la configuración espacial de las densidades de suelo construido por actividad, para los años 2001, 2006, y la variación experimentada en el período 2001-2006.

## 2.- Metodología

### Area de estudio

La ciudad de Barcelona es la capital de la comunidad autónoma de Cataluña, que en total tiene 945 municipios, de los cuales 164 de ellos conforman la denominada Región Metropolitana de Barcelona (en adelante RMB). Dentro de la RMB, el área de estudio considera un total de 27 municipios, los que se subdividen 177 zonas de análisis, que corresponde a las zonas de transporte de las encuestas de movilidad cotidiana que finalmente cuentan con información válida y representativa. En la siguiente figura se presente la situación geográfica del área de estudio.

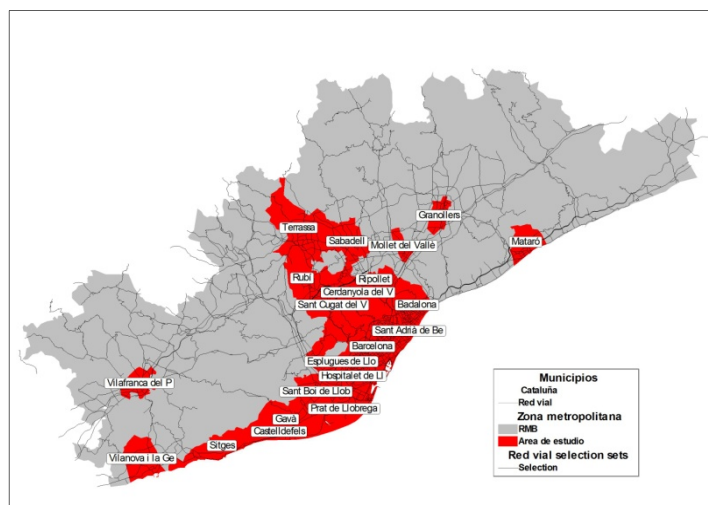
**Figura 1.-** Situación geográfica del área de estudio a nivel de Cataluña



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se muestra un contexto menor del área de estudio, y su relación con la red vial de la RMB.

**Figura 2.-** Contexto geográfico del área de estudio a nivel de la RMB



Fuente: Elaboración propia

El área de estudio considera los grandes municipios de la RMB como son Barcelona, Terrassa, Sabadell, Badalona, Hospitalet de Llobregat, Granollers, Mataró, etc. Es

decir considera todo el núcleo urbano fuerte de la RMB así como los subcentros interiores de carácter industrial. Así también se considera la conurbación costera de mayor carga demográfica y de actividades logísticas.

La relevancia del área de estudio analizada en esta tesis se representa por el nivel de concentración de actividades en relación a la RMB y a Cataluña. Es así que:

- En relación a la superficie municipal, el área de estudio con sus 68.100 ha. concentra un 2,1% de superficie de Cataluña, y un 11% de la RMB.
- En relación a la población, el área de estudio contenía una población de 3.487.305 habitantes el año 2001, que correspondía a un 54,8% de Cataluña, y a un 79,4 % de la RMB. Las estimaciones al año 2009<sup>1</sup> aumenta la población a 3.811.934 habitantes, pero dado el proceso de descentralización observado en los últimos años e incorporado en las estimaciones, los porcentajes bajan a un 51 % de Cataluña, y a un 76,8% de la RMB.
- En relación a las viviendas principales, el área de estudio contenía 1.300.884 viviendas el año 2001, que correspondía a un 55,8% de Cataluña, y a un 80,4 % de la RMB. Las estimaciones al año 2009 aumenta el número a 1.472.638, concentrando un 52 % de Cataluña, y un 78,3% de la RMB.
- En relación a la población ocupada residente (POR), el área de estudio contenía un total de 1.525.611 ocupados el año 2001, que correspondía a un 54,2% de Cataluña, y a un 78,2 % de la RMB. Las estimaciones al año 2009 aumenta a 1.822.918 ocupados, concentrando un 50,9 % de Cataluña, y un 76,4% de la RMB.
- En relación a empleos, el área de estudio contenía un total de 1.547.329 empleos el año 2001, que correspondía a un 55,4% de Cataluña, y a un 78,8% de la RMB. Al año 2009, las estimaciones arrojan un valor de 1.896.918 empleos, concentrando un 53% de Cataluña, y un 78,6% de la RMB. En este sentido, también es necesario destacar que en el área de estudio si incluyen 10 de los 11 subcentros de la RMB detectados por el método de densidad de empleo en diversos estudios [2].
- En relación a la superficie de suelo construida, de los 362.196.640 m<sup>2</sup> construidos en la RMB en el año 2008, considerando todos los usos, el área de estudio contiene un 71,7%. Pero este porcentaje varía según el uso que se considere. Es así que de vivienda concentra el 73,3%, 58,7% de industria, 84,1 % de oficinas, 84,5% de comercios, 59,7% de centros deportivos, el 81,6% de actividades de espectáculo, el 66,9% de ocio y hostelería, el 89% de sanidad, y el 85,2% de centros culturales y religiosos.
- En relación al área urbanizada (o también llamada artificializada), el área de estudio contenía un total de 30.253 hectáreas el año 2000, que correspondía a un 47,2% de la RMB. Al año 2006 la superficie urbanizada del área de estudio es de 33.725 hectáreas, concentrando un 44,9% de la RMB.

### Supuestos de modelación

La información utilizada para caracterizar la estructura locacional de las actividades corresponde a la densidad neta de superficie construida, obtenida de la base de datos de catastro.

Dado que las actividades analizadas provienen de las categorías de propósitos de viajes de las distintas encuestas de movilidad cotidiana, fue necesario hacer una asignación de que actividades se desarrollan en que usos de suelo, cuyas categorías

---

<sup>1</sup> Dado que no existe un censo actualizado, los datos al año 2009 provienen del modelo Demograf-Econograf, elaborado por el CPSV, en el contexto del estudio "Modelo de evaluación de la eficiencia energética y ambiental, de la estructura de actividades y la movilidad, de la Región Metropolitana de Barcelona", para el Ministerio de Fomento del gobierno de España.

proviene de la base de catastro. En la tabla 1 se muestra la correspondencia entre actividad y usos de suelo.

**Tabla 1.- Correspondencia entre actividades (propósitos EMQ), y usos de suelo (Categorías de catastro)**

Propósito del viaje		Uso de suelo y código UCM	Residencias - U01	Industria - U02	Culturales - U091, U092	Comercios - U04	Oficinas - U03 Sanidad y beneficencia - U08 Religiosos - U093 Administración - U102	Espectáculo - U06 Ocio y hostelería - U07 Deportes - U05 Históricos-artísticos - U101 Jardines - U103
EMQ 2001	EMQ 2006	Actividad \ Uso	Residencias	Industrias	Educación	Comercios	Servicios	Ocio y recreación
Casa/Domicilio	Retornar a casa, domicilio	Estadía en casa						
Trabajo	El trabajo	Trabajo						
Gestiones de trabajo	Gestiones de trabajo							
Estudios	La escuela, universidad	Estudios						
	Actividades de formación complementaria o no reglada							
Compras	Compras cotidianas	Compras						
	Compras ocasionales o no cotidianas							
Médico/hospital	Médico, Ambulatorio, pruebas diagnósticas, recuperación	Personales						
Gestiones personales	Gestiones personales							
Visitar amigos/familiar	Visita a familia o amigos	Sociales						
Acompañar a personas	Acompañar a otras personas							
Ocio, diversión, etc.	Comida no de ocio (comer, cenar,...)	Ocio y recreación						
Comer/Cenar	Práctica de actividades deportivas							
	Actividades culturales (museos, conferencias, cine, teatro...)							
	Otras actividades de ocio (restauración, actividades lúdicas...)							
	Paseos							

Fuente: elaboración propia

Como se puede apreciar, finalmente fueron seis las categorías de usos de suelo a ser analizadas y explicada por los distintos modelos. Estas categorías son:

- Residencias: en donde se desarrollan las actividades de estadía en casa, y actividades sociales.
- Industria: en donde se desarrolla la actividad de trabajo.
- Educación: en donde se desarrollan las actividades de estudio, y de trabajo.
- Comercios: en donde se desarrollan las actividades de compras, y de trabajo.
- Servicios: en donde se desarrollan las actividades personales, y de trabajo.
- Ocio y recreación: en donde se desarrollan las actividades de ocio y recreación, y de trabajo.

Los modelos econométricos calibrados tuvieron por objeto explicar el valor de la densidad neta de superficie construida por uso, en función de las características de los otros usos, y las características funcionales de los territorios. Para distintos usos se consideraron distintas variables, dada las lógicas propias de cada uno. A continuación se presentan los distintos grupos de variables explicativas consideradas.

- Variables de usos de suelo: se consideraron las densidades de los otros usos, de manera de captar relaciones de economías de aglomeración, si es que fuesen significativas.
- Variables de las cadenas de viaje: se consideraron los valores medios de tiempo total de viaje en la cadena, duración total de las actividades fuera del hogar, las distancias totales recorridas, y alejamiento.
- Variables funcionales de acceso y duración: se consideraron los valores medios de cada zona en relación a los tiempos de acceso, la duración de las actividades, las distancias (alejamiento y recorrido), las particiones modales de los tiempos de acceso.
- Variables funcionales de intensidad: se consideraron las variables de intensidad media (promedio de la densidad de personas entre las 9:00 y 21:00hrs), y diversidad social media (promedio de la diversidad social entre las 9:00 y 21:00hrs.)
- Variables de ritmo urbano: se consideró la diversidad media de actividades (promedio de la diversidad de actividades entre las 9:00 y 21:00hrs.).
- Componente espacial de la variable dependiente: cuando correspondía hacerlo, se calibró el modelo con dependencia espacial de la variable dependiente.

Todas las variables de cadenas de actividades, funcionales, y de ritmos se consideraron diferenciando el día laboral del no laboral.

Se calibro un modelo para cada año (2001, 2006), y otro para la variación de las densidades (y por ende la variación de las variables explicativas) en el período 2001-2006.

La lógica de cada uso modelado requiere una estructura de modelamiento específica, en el sentido de las variables a ser considerada en cada situación.

El procedimiento de calibración siguió un riguroso proceso de análisis exploratorio, de manera de por una parte cumplir los supuestos básicos del modelo econométrico, pero también cumplir con la coherencia propia del fenómeno, reflejada en los signos obtenidos, y en la decisión de que variables a incluir, en situaciones de descarte por multicolinealidad. Finalmente, al mejor modelo obtenido se le realizó un análisis de dependencia espacial.

A continuación se muestra la tabla 2 con la estructura calibrada en cada modelo.

**Tabla 2.- Estructura de los modelos econométricos calibrados**

Variables explicativas		Modelo de densidad					
		Residencias	Industrias	Educación	Comercios	Servicios	Ocio y recreación
Densidad de usos de suelo							
Cadenas de actividades	Lab. / no lab.						
Ritmo urbano	Lab. / no lab.						
Funcionalidad de la estadia en casa	Lab. / no lab.						
Funcionalidad del trabajo	Lab. / no lab.						
Funcionalidad del estudio	Lab. / no lab.						
Funcionalidad de compras	Lab. / no lab.						
Funcionalidad de actividades personales	Lab. / no lab.						
Funcionalidad de actividades sociales	Lab. / no lab.						
Funcionalidad de actividadesde ocio y rec	Lab. / no lab.						
Estructura espacial							

Fuente: elaboración propia

El modelo de residencias consideró la complementariedad con otros usos, la diversidad de actividades, el comportamiento de las cadenas de viajes en el sentido de considerar toda la secuencia de actividades que parten y retornan de cada zona, como una medida de "alcance" de cada zona. También consideró la funcionalidad del retorno a casa, con un enfoque de acceso al hogar luego del desarrollo de actividades. Finalmente consideró la actividad que también se desarrolla en la residencia que es albergar las actividades sociales. La idea, en este, caso fue evaluar el peso de las dimensiones de asociación de usos en la misma zona (y la diversidad de estas actividades), el alcance que puede tener la zona en el desarrollo de otras actividades, las situaciones para el retorno a casa, y la funcionalidad de la actividad social que se desarrolla.

El modelo de industrias consideró la complementariedad con otros usos, la diversidad de actividades que estos generan, y la funcionalidad de la actividad de trabajo.

Los modelos de educación, comercios, servicios, y ocio y recreación tienen la misma estructura, en el sentido que consideran la complementariedad con otros usos, la diversidad de actividades que estos generan, la funcionalidad de la actividad de trabajo a la cual están afectos sus empleados, y la funcionalidad de cada uno de los "usuarios" o "clientes" de cada actividad.

La justificación del análisis e incorporación de estructuras espaciales en los modelos econométricos surge de la violación de uno de los supuestos básicos en econometría, que es el que se refiere a la no auto-correlación de residuos, lo que está directamente relacionado con la auto-correlación de los valores de la variable dependiente.

Si los residuos están de alguna forma auto-correlacionados, no se logra la eficiencia de los valores estimados, en el sentido de ser insesgados y de varianza mínima. En este contexto, uno de las causas de auto-correlación de residuos es la existencia de una estructura espacial de los valores de la variable dependiente, es decir, que si al ver los valores en un plano temático, los valores altos se agrupan en un espacio determinado, así como también los valores bajos. En este caso se habla de auto-correlación espacial positiva. Si al contrario el mapa temático muestra que los valores altos y los bajos de la variable se encuentran igualmente distribuidos y mezclados entre sí (como un tablero de ajedrez), se habla de una no auto-correlación espacial de los valores, o también de una auto-correlación espacial negativa. En este último caso no se viola el supuesto básico, por lo que no se justifica la modelación econométrica espacial.

En base a lo anterior, a cada modelo definitivo de densidad de uso de suelo se le realizó un análisis de correlación espacial, tanto de los residuos como de las variables dependientes. Para esto se utilizó, entre otros, el test de Moran, de auto-correlación espacial.

El test I de Moran fue inicialmente formulado como función de una variable (Y), considerada en los puntos del espacio (i,j), en desviaciones a la media, y los elementos de la matriz de relaciones espaciales (wij). El indicador I de Moran se calcula en base a la siguiente ecuación:

$$I = \frac{N}{S_0} * \frac{\sum_{ij} w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2} \quad \text{ec(1)}$$

Donde

Wij : elemento de la matriz de relación espacial entre la zona i y j

S<sub>0</sub> :  $\sum_{ij} w_{ij}$ , es decir la suma de las relaciones espaciales

y : valor medio de la variable y.

N: número de observaciones o tamaño muestral

Al indicador I de Moran se le realiza un test de hipótesis, para determinar la relación entre el valor calculado y su valor medio teórico. El resultado de este test de hipótesis puede concluir lo siguiente:

1. Que el valor calculado es igual al valor medio teórico, por lo que no existe autocorrelación espacial de la variable Y.
2. Que el valor calculado es mayor que el valor medio, por lo que existe autocorrelación espacial positiva en los valores de y, lo que quiere decir que existe una componente espacial en los valores, en el sentido que valores altos y bajos se concentran en el territorio.
3. Que el valor calculado es menor que el valor medio, por lo que existe autocorrelación espacial negativa en los valores de y, lo que quiere decir que no existe una componente espacial de los valores, es decir, valores bajos coexisten espacialmente con valores altos (tablero de ajedrez).

Con el resultado de este test se sabe a ciencia cierta si se requiere o no calibrar un modelo econométrico espacial, para así obtener coeficientes eficientes. Los últimos avances de este test han generado procedimientos más robustos como por ejemplo el

test LM tanto para errores como para variables, basado en multiplicadores de Lagrange, y que resulta ser robusto a una mala especificación del modelo. En estos test también se aplican pruebas de contraste para detectar estructuras espaciales.

Si se detecta algún tipo de estructura espacial, se debe calibrar el modelo original con una nueva estructura, incorporando la variable espacial, y aplicando ya no el método tradicional de mínimos cuadrados, sino que el método de máxima verosimilitud para obtener el valor de los coeficientes de la regresión.

La calibración de un modelo econométrico espacial no es más que incorporar una variable que dé cuenta del valor de la variable dependiente en su entorno (o el efecto del entorno en el error), con lo que al descontar este efecto del valor de la variable dependiente se des-espacializa dicho valor, para ser explicado de forma más pura en base a las restantes variables independientes.

A continuación se muestra un modelo econométrico clásico, y las dos estructuras espaciales posibles.

$$\begin{aligned}
 \text{modelo clásico} \quad Y_i &= \beta_0 + \sum \beta_i * X_i + \mu_i \\
 \text{modelo espacial tipo lag} \quad Y_i &= \beta_0 + \gamma W Y_{ei} + \sum \beta_i * X_i + \mu_i \\
 \text{modelo espacial tipo error} \quad Y_i &= \beta_0 + \sum \beta_i * X_i + \mu_i + \tau W \mu_{ei}
 \end{aligned}
 \quad \text{ec (2)}$$

Donde

Y : variable dependiente

X : variables independientes

W : matriz de relación espacial entre la zona i y j

Ye : valores de la variable dependiente en el entorno definido en W

μe : valores del error en el entorno definido en W

Como se puede apreciar de la segunda ecuación, al término  $Y - \gamma W Y_e$  se le llama ajuste espacial o des-espacialización de la variable dependiente. Los coeficientes de los retardos espaciales tanto de la variable dependiente como del error también se analizan desde el punto de vista de su significancia estadística.



### 3.- Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada uso de suelo.

En la tabla 3 se presentan los resultados finales del modelo de densidad de superficie residencial. Durante el proceso de calibración se detectaron algunas situaciones de relaciones de variables, muchas de las cuales no se reflejaron en los modelos finales, pero que para entendimiento del fenómeno, son interesantes de rescatar. Es así que:

- El comportamiento de las cadenas, tanto en día laboral como no laboral, se asocian a tres factores independientes, como son el número de etapas y el tiempo en casa, el tiempo de viaje total en conjunto con la duración de actividades fuera de casa, y finalmente la distancia recorrida que agrupa a todas las variables relacionadas con la partición modal.
- En la funcionalidad del acceso a casa pasa algo parecido, en el sentido que son las dimensiones de tiempo de acceso, duración de la actividad, y la distancia recorrida, las variables que aglutinan a las demás. Surge un cuarto factor que sintetiza la partición modal del acceso, no diferenciando el día laboral del no laboral.
- Las variables que representan el uso de las residencias para el desarrollo de actividades sociales, no resultaron ser significativas, en relación a las otras variables incluidas en el modelo.
- La estructura espacial detectada en estos modelos fue del tipo lag (desfase espacial de la variable, y no del error). La calibración con estructura espacial hizo que el ajuste original pasara del orden de un 0,55 (R<sup>2</sup>) a un 0,65, lo que habla de la significancia de este aporte en la explicación.

**Tabla 3.- Resultados calibración de modelos para la densidad de superficie residencial**

Variables explicativas		Modelo 2001			Modelo 2006			Modelo 2001-2006		
		Coef	Beta	t	Coef	Beta	t	Coef	Beta	t
	Constante	186625		3,579	480340		5,838	5979		1,951
Usos de suelo	Densidad agregada (edu.+com.+serv.+ocio.)	0,935	<b>0,584</b>	5,613	0,767	<b>0,513</b>	4,778	0,994	<b>0,651</b>	5,996
Cadenas de actividades										
Ritmo urbano										
Funcionalidad de la estadia en casa	Tiempo de acceso							-30904	-0,141	-2,165
	Distancia recorrida				-237419	-0,284	-4,844			
	Factorial modo T. Público - T.Privado	-88995	-0,260	-3,177						
	Factorial modo Otro - T.Privado				-48568	-0,145	-1,680			
Funcionalidad de actividades sociales										
Estructura espacial		0,566		9,129	0,557		9,296	0,601		9,887
	R <sup>2</sup> adj.	<b>0,658</b>			<b>0,695</b>			<b>0,652</b>		
	Log likelihood	<b>-2509,58</b>			<b>-2509,36</b>			<b>-2009,53</b>		
	Error típico de la estimación	332722			332839			19593		

Fuente: elaboración propia

Todo lo expuesto anteriormente, originó los modelos definitivos para ambos años, y para la variación de densidad. En general se observa un nivel de ajuste medio-alto de los modelos obtenidos. Se observan variables de alta significancia, dentro de las cuales, la que mayormente aporta en la explicación (mayor valor absoluto de Beta) es la variable de uso de suelo que representa a todos los usos no residenciales, menos el industrial. El signo positivo indica que a mayor densidad de estos usos, mayor es la densidad residencial.



De las variables funcionales de la estadía en casa, la variable que se repite en los años es el factor sintético que da cuenta de la partición modal del retorno. El coeficiente negativo de esta variable se asocia al valor sintético antes mencionado, en el sentido que si es mayor la proporción de transporte privado (el índice toma un valor positivo), se resta densidad. En cambio si es mayor la proporción de transporte público (o el otro para el año 2006), el índice sintético toma un valor negativo, por lo que suma densidad.

El año 2006 resulta ser significativa la distancia recorrido en el acceso a casa, que con su signo negativo representa una pérdida de densidad a medida que aumenta la distancia de retorno.

La constante del modelo gana significancia de explicación en el período 2001-2006 (pasando de una significancia de 3,6 a 5,8). Lo mismo ocurre, pero en menor grado con el coeficiente de estructura espacial (el que multiplica al valor promedio del entorno contiguo a cada zona), mostrando la alta participación que tiene el valor del entorno en la zona (se "extrae" del orden de un 60% de la densidad del entorno).

El modelo de variación de densidad indica que la variación será positiva (aumento de densidad) cuando aumente la densidad de los usos complementarios antes mencionados, y/o disminuya el tiempo de retorno a casa.

En la tabla 4 se presentan los resultados finales del modelo de densidad de superficie Industrial. Las situaciones detectadas en el proceso de calibración se detallan a continuación.

- En la funcionalidad del trabajo, al igual que el caso anterior, son las dimensiones de tiempo de acceso, duración de la actividad, y la distancia recorrida, las variables que aglutinan a las demás. En este caso también surge un cuarto factor que sintetiza la partición modal del acceso, no diferenciando el día laboral del no laboral.
- Se eliminó la constante del modelo, dado que a lo largo de todo el proceso de calibración, mostro una baja significancia en la explicación del modelo, dado que las variables incluidas asumían de buena forma la explicación del fenómeno.
- El usos industrial fue el único en donde no se detectó autocorrelación espacial, ya sea de la variable dependiente o de los residuos, por lo que se modelo de forma clásica.

**Tabla 4.- Resultados calibración de modelos para la densidad de superficie industrial**

Variables explicativas		Modelo 2001			Modelo 2006			Modelo 2001-2006		
		Coef	Beta	t	Coef	Beta	t	Coef	Beta	t
	Constante									
Usos de suelo										
Ritmo urbano										
Funcionalidad del trabajo	Duración	18463	0,788	16,619	123457	0,727	13,347			
	Intensidad media	3,257	0,100	2,105	4,470	0,164	3,012			
Estructura espacial										
	R2 adj.	0,706			0,724					
	Log likelihood	-2253,96			-2260,04					
	Error típico de la estimación	82069			84938					

Fuente: elaboración propia

Todo lo expuesto anteriormente, originó los modelos definitivos para ambos años. Para la variación de densidad se obtuvo un modelo significativo en los parámetros, pero cuyo ajuste y significancia global indicaban la "no existencia" del modelo, por lo que no se consideró correcta su inclusión en el análisis.

En general se observa un nivel de ajuste relativamente alto de los modelos obtenidos. Los modelos se componen solamente de variables funcionales, de las cuales la más significativa es la duración media de la actividad, asociada a la intensidad media de la actividad. Estos resultados resultan ser lógicos en el sentido que mientras más personas lleguen a trabajar, y que su jornada sea más larga, más espacio se requerirá. Con alta intensidad, pero duración menor, se optimiza el espacio dada la mayor rotación de personas en el mismo espacio, por lo que se requiere menos.

En la tabla 5 se presentan los resultados finales del modelo de densidad de superficie educacional. Las situaciones detectadas en el proceso de calibración se detallan a continuación.

- En la funcionalidad del estudio, al igual que el caso anterior, son las dimensiones de tiempo de acceso, duración de la actividad, y la distancia recorrida, las variables que aglutinan a las demás. En este caso no surge un factor sintético de partición modal.
- Las variables asociadas a la funcionalidad laboral no resultaron ser significativas en la explicación de la densidad de suelo educacional. Lo mismo ocurre con la variable del ritmo urbano (diversidad media de actividades).
- La estructura espacial detectada en estos modelos fue de ambos tipos (lag y error), aunque finalmente resultaron ser significativos los parámetros de modelo con estructura lag (desfase espacial de la variable, y no del error). La calibración con estructura espacial hizo que el ajuste original pasara del orden de un 0,49 (R2) a un 0,53, lo que muestra el aporte marginal en la explicación global.

**Tabla 5.- Resultados calibración de modelos para la densidad de superficie educacional**

Variables explicativas		Modelo 2001			Modelo 2006			Modelo 2001-2006		
		Coef	Beta	t	Coef	Beta	t	Coef	Beta	t
	Constante	9282		3,450	9750		4,413	200		1,251
Usos de suelo	Densidad de residencias							0,015	<b>0,521</b>	5,477
Ritmo urbano										
Funcionalidad del trabajo										
Funcionalidad del estudio	Tiempo de acceso	8578	0,131	1,999						
	Intensidad media	12,375	<b>0,671</b>	10,162	13,689	<b>0,727</b>	11,116			
Estructura espacial		0,279		3,528	0,258		3,478	0,399		4,888
R2 adj.		<b>0,534</b>			<b>0,561</b>			<b>0,369</b>		
Log likelihood		<b>-1965,67</b>			<b>-1970,33</b>			<b>-1491,53</b>		
Error típico de la estimación		15948			16398			1083		

Fuente: elaboración propia

En general se observa un nivel de ajuste medio de los modelos obtenidos. Los modelos de densidad absoluta se componen solamente de variables funcionales, de las cuales la más significativa es la intensidad media de la actividad de estudios, asociada (el año 2001) al tiempo de acceso. El signo de la intensidad media es correcto, en el

sentido que una mayor intensidad le corresponde mayor densidad. El signo positivo del tiempo de viaje resulta, en principio extraño, pero recordando la distribución de las altas densidades en el área de estudio, las que se asocian al emplazamiento de grandes superficie universitarias localizadas en la periferia de Barcelona, o entorno al sistema vial de autovías y autopistas, tiene sentido pensar que a mayor tiempo de acceso son donde se localizan las mayores densidades de superficie educacional.

La constante del modelo gana significancia de explicación en el período 2001-2006 (pasando de una significancia de 3,5 a 4,4). El coeficiente de estructura espacial mantiene su significancia, y su valor indica que la participación que tiene el valor del entorno es de un 30% en la densidad de la zona.

El modelo de variación de densidad presenta relativamente un menor ajuste, y se asocia sólo al uso del cual se genera su demanda (la residencia), no incluyendo variables de las variaciones en la funcionalidad de la actividad en el territorio.

En la tabla 6 se presentan los resultados finales del modelo de densidad de superficie comercial. Las situaciones detectadas en el proceso de calibración se detallan a continuación.

- En la funcionalidad de compras, al igual que en los casos anterior, son las dimensiones de tiempo de acceso, duración de la actividad, y la distancia recorrida, las variables que resultan ser relativamente independiente y que aglutinan a las demás. En este caso si surge un factor sintético de partición modal, que no diferencia entre día laboral y no laboral.
- Las variables asociadas a la funcionalidad laboral no resultaron ser significativas en la explicación de la densidad de suelo comercial. Lo mismo ocurre con la variable del ritmo urbano (diversidad media de actividades).
- La estructura espacial detectada en estos modelos fue de tipo lag en los modelos por año, y del tipo error en el modelo de variaciones. La calibración con estructura espacial hizo que el ajuste original pasara del orden de un 0,78 (R2) a un 0,83, lo que muestra el aporte significativo en la explicación global.

**Tabla 6.- Resultados calibración de modelos para la densidad de superficie comercial**

Variables explicativas		Modelo 2001			Modelo 2006			Modelo 2001-2006		
		Coef	Beta	t	Coef	Beta	t	Coef	Beta	t
	Constante	-2744		-0,626	7686		1,601	156		0,505
Usos de suelo	Densidad de residencias	0,073	<b>0,773</b>	13,124				0,081	<b>0,728</b>	16,704
	Densidad de servicios							0,195	0,273	6,883
Ritmo urbano										
Funcionalidad del trabajo										
Funcionalidad de compras	Intensidad media	26,583	0,177	4,526	94,535	<b>0,780</b>	12,140			
	Factorial modo otro - T.Público	3510	0,094	1,424						
Estructura espacial		0,252		4,024	0,507		9,486	0,431		5,122
R2 adj.		<b>0,805</b>			<b>0,744</b>			<b>0,829</b>		
Log likelihood		<b>-2066,51</b>			<b>-2105,19</b>			<b>-1554,86</b>		
Error típico de la estimación		28245			34216			1543		

Fuente: elaboración propia

En general se observa un nivel de ajuste medio-alto de los modelos obtenidos. Los modelos de densidad absoluta se componen de variables funcionales, y para el año 2001 de variables de usos del suelo. Para el modelo del año 2001, la variable de mayor peso explicativo es la densidad de residencias, seguida por las variables

funcionales de intensidad media, y el facto sintético de transporte público, el que indica que a una mayor proporción de transporte público en el acceso al comercio, mayor es la densidad. Los signos y variables incluidas resultan ser coherentes. Para el año 2006, pierde significancia la densidad residencial y el modo de acceso, siendo la intensidad media la única variable explicativa (perdiendo ajuste el modelo).

La constante del modelo en general no es significativa en la explicación de la densidad comercial, pero se incluyó de igualmente para hacer comparativos los modelos y los procesos de calibración espacial. El coeficiente de estructura espacial gana significancia en el período 2001-2006, y también aumenta su valor (de 30% a 50%) indicando la participación de la densidad comercial del entorno en la densidad comercial de una zona.

El modelo de variación de densidad incluye sólo variables de usos de suelo, siendo la de mayor peso en la explicación la variación de la densidad residencial, y luego la variación de la densidad de servicios. No se incluye ninguna variable funcional, y presenta un ajuste significativamente alto.

En la tabla 7 se presentan los resultados finales del modelo de densidad de superficie de servicios. Las situaciones detectadas en el proceso de calibración se detallan a continuación.

- En la funcionalidad de servicios, al igual que en los casos anteriores, son las dimensiones de tiempo de acceso, duración de la actividad, y la distancia recorrida, las variables que resultan ser relativamente independiente y que aglutinan a las demás. En este caso si surge un factor sintético de partición modal, que no diferencia entre día laboral y no laboral.
- Las variables asociadas a la funcionalidad laboral no resultaron ser significativas en la explicación de la densidad de suelo comercial. Lo mismo ocurre con la variable del ritmo urbano (diversidad media de actividades).
- La estructura espacial detectada en estos modelos fue de tipo lag. La calibración con estructura espacial hizo que el ajuste original pasara del orden de un 0,63 (R2) a un 0,83, lo que muestra el aporte significativo en la explicación global.

**Tabla 7.- Resultados calibración de modelos para la densidad de superficie de servicios**

Variables explicativas		Modelo 2001			Modelo 2006			Modelo 2001-2006		
		Coef	Beta	t	Coef	Beta	t	Coef	Beta	t
	Constante	-6316		-1,196	-23945		-4,968	-1307		-2,935
Usos de suelo	Densidad de residencias							0,022	0,369	2,808
	Densidad de ocio y recreación	0,507	0,313	3,853	0,587	0,295	5,501	0,742	<b>0,500</b>	5,803
Ritmo urbano										
Funcionalidad del trabajo										
Funcionalidad de actividades personales	Intensidad media	92,714	<b>0,564</b>	6,432	122,324	<b>0,723</b>	11,889			
Estructura espacial		0,600		10,866	0,383		6,709	0,683		13,345
R2 adj.		<b>0,745</b>			<b>0,823</b>			<b>0,712</b>		
Log likelihood		<b>-2177,03</b>			<b>-2148,65</b>			<b>-1688,34</b>		
Error típico de la estimación		50486			44442			3131		

Fuente: elaboración propia

En general se observa un nivel de ajuste medio-alto de los modelos obtenidos. Los modelos de densidad absoluta se componen de variables funcionales y de usos del

suelo, siendo la variable de mayor peso explicativo la intensidad media, seguida por la densidad de actividades de ocio y recreación. Los signos y variables incluidas resultan ser coherentes.

La constante del modelo toma un valor negativo, que es no significativo el año 2001, pero gana significancia el año 2006. El signo negativo no tiene interpretación del fenómeno, y se debe sólo a balances entre las distintas magnitudes de las variables. El coeficiente de estructura espacial, es altamente significativo, pero pierde significancia en el período 2001-2006, y también disminuye su valor (de 60% a 38%) indicando la participación de la densidad de servicios del entorno en la densidad de una zona.

El modelo de variación de densidad incluye sólo variables de usos de suelo, siendo la de mayor peso en la explicación la variación de la densidad de actividades de ocio y recreación, y luego la variación de la densidad de residencias. No se incluye ninguna variable funcional.

En la tabla 8 se presentan los resultados finales del modelo de densidad de superficie de ocio y recreación. Las situaciones detectadas en el proceso de calibración se detallan a continuación.

- En la funcionalidad de esta actividad, al igual que en los casos anteriores, son las dimensiones de tiempo de acceso, duración de la actividad, y la distancia recorrida, las variables que resultan ser relativamente independiente y que aglutinan a las demás. En este caso no surge un factor sintético de partición modal del acceso.
- Las variables asociadas a la funcionalidad laboral no resultaron ser significativas en la explicación de la densidad de suelo comercial. Lo mismo ocurre con la variable del ritmo urbano (diversidad media de actividades).
- La estructura espacial detectada en estos modelos fue de tipo lag. La calibración con estructura espacial hizo que el ajuste original pasara del orden de un 0,40 (R<sup>2</sup>) a un 0,48, lo que muestra el aporte marginal a la explicación global.

**Tabla 8.- Resultados calibración de modelos para la densidad de superficie de actividades de ocio y recreación**

Variables explicativas		Modelo 2001			Modelo 2006			Modelo 2001-2006		
		Coef	Beta	t	Coef	Beta	t	Coef	Beta	t
	Constante	9771		3,409	5681		1,807	279		1,586
Usos de suelo	Densidad de servicios	0,106	<b>0,444</b>	4,346	0,105	<b>0,404</b>	4,326	0,104	<b>0,416</b>	4,186
	Ritmo urbano									
	Funcionalidad del trabajo									
Funcionalidad de actividades de ocio y recreación	Intensidad media	9,939	0,276	3,763	7,371	0,332	3,892	1,296	0,306	3,668
	Estructura espacial	0,394		5,058	0,351		4,362	0,372		4,622
	R <sup>2</sup> adj.	<b>0,487</b>			<b>0,486</b>			<b>0,484</b>		
	Log likelihood	<b>-2047,44</b>			<b>-2056,86</b>			<b>-1544,63</b>		
	Error típico de la estimación	25057			26542			1466		

Fuente: elaboración propia

En general se observa un nivel de ajuste medio de los modelos obtenidos. Tanto los modelos de densidad absoluta como el de variación, se componen de variables funcionales y de usos del suelo, siendo la variable de mayor peso explicativo la

densidad de superficie de servicios, seguida por variable funcional de intensidad media. Los signos y variables incluidas resultan ser coherentes.

La constante del modelo es significativa el año 2001, pero pierde significancia el año 2006. El coeficiente de estructura espacial mantiene su significancia en el período 2001-2006, y su valor indica que la participación de la densidad de actividades de ocio y recreación del entorno es del orden de un 30% de la densidad de una zona.

#### 4.- Consideraciones finales

De los resultados obtenidos, sin olvidar las limitaciones propias de los modelos construidos, se puede decir que:

- Se puede decir que la densidad de superficie residencial, como una aproximación a la localización de dicha actividad, está fuertemente condicionada (o condiciona, según como se vea) por la existencia de usos complementarios en la misma zona (educación, comercios, servicios, y ocio y recreación), pero que la funcionalidad con respecto al retorno a casa de visitar dichos usos (o los de otras zonas), sea de corta distancia, o asociado preferentemente a transporte público o caminata. Si se asocia este retorno a transporte privado, se da una situación de alejamiento de dichos servicios, por lo que el "potencial" de densidad residencial baja. Siendo coherente con lo anterior, la variación de densidad residencial depende directamente de la variación de la densidad de los usos complementarios antes mencionados, pero también de la variación en la funcionalidad con estos y otros usos, respecto del tiempo de viaje del retorno a casa. Si el tiempo del retorno disminuye, el potencial de aumento de la densidad residencial tiende a aumentar. Por último, e independientemente de todo lo anterior, la densidad de superficie residencial presenta un mecanismo propio de difusión espacial, dada la relación detectada, es decir, sin modificar las variables explicativas en una zona, se puede ver alterada la densidad producto de la variación en otra zona del área de estudio. Finalmente, el comportamiento es una combinación de asociaciones de usos, funcionalidad del acceso (o retorno) a casa, y el entorno residencial. Lo paradójico de lo anterior es que se pueden dar situaciones en que existan los usos complementarios, pero que su funcionalidad sea baja en términos de los tiempos de retorno, que originen una pérdida de potencial de densidad residencial (fenómeno de centros de baja densidad en ciudades latinoamericanas, o de pérdida relativa de densidad residencial en ciudades europeas como Barcelona).  
Es el factor del tiempo de retorno una explicación posible del fenómeno de la descentralización de las actividades de servicios en ciudades de gran expansión urbana (y por ende baja densidad residencial). En este caso el tiempo de retorno debe ser analizado con más detalle, ya que bajos tiempos de retorno se dan tanto con alta proporción modal de la caminata (hasta cierto umbral de distancia), como del transporte privado (a partir de cierto umbral de distancia), por lo que la predominancia del transporte público es el elemento diferenciador o propio de los centros de alta densidad residencial (europeos).
- Se puede decir que la densidad de superficie industrial, como una aproximación a la localización de dicha actividad, está fuertemente condicionada a la funcionalidad de la actividad de empleo que se desarrolla en ella. No se aprecia una asociación espacial verificable con otros usos. Como se planteaba antes, la funcionalidad que condiciona principalmente la densidad es la duración de la actividad de trabajo, asociada (con menor peso explicativo, pero no menor lógica) con la intensidad media, es decir, la densidad promedio (entre 9:00 y 21:00hrs) de personas trabajando. La segunda variable determina la masa de

empleo (y su consecuente requerimiento de espacio), y la segunda la intensidad de usos del espacio por parte de cada trabajador. Así, se puede lograr un mismo requerimiento de espacio en base a menos trabajadores con una jornada más larga, o más trabajadores con jornada reducida (paradigma actual de productividad económica, alargando ya no la jornada sino que el período de funcionamiento de los procesos productivos).

La no existencia de un modelo para explicar la variación de la densidad industrial, se refiere sólo a las variables y dimensiones analizadas en esta tesis. Esto quiere decir que el comportamiento de la evolución industrial en el área de estudio no depende de las condiciones de funcionalidad, y ni siquiera de los usos que se podrían ver como complementarios, pero que en definitiva no generan un mercado interno de la actividad. Lo anterior se debe entender también con base en la escala del área de estudio, ya que no se le puede considerar como un mercado cerrado (insumo-producto) industrial (lo que sí se verifica en los otros usos).

- Se puede decir que la densidad de superficie educacional, como una aproximación a la localización de dicha actividad, está fuertemente condicionada a la funcionalidad de la actividad de estudio que se desarrolla en ella. No se aprecia una asociación espacial verificable con otros usos. Como se planteaba antes, la funcionalidad que condiciona principalmente la densidad es la intensidad media (densidad promedio de personas estudiando entre las 9:00 y 21:00hrs). La variable funcional del tiempo de acceso, se incluye el año 2001, con una significancia al límite de lo aceptable, pero que da cuenta de una situación particular en el área de estudio respecto de las grandes superficies educacionales, las que se asocian preferentemente a grandes campus universitarios en localizaciones periféricas, por lo que el tiempo de acceso aparece con signo positivo. Esta variable deja de ser significativa el año 2006, por lo que se puede clasificar como una particularidad y no una regularidad. El modelo de variación de la densidad abandona toda relación con la funcionalidad de la actividad, y se centra en el uso residencial, el que representa la demanda directa de la actividad.

Por último, e independientemente de todo lo anterior, la densidad de superficie educacional presenta un mecanismo propio de difusión espacial, de menor intensidad que el detectado para la superficie residencial, pero que de igual forma refleja la auto-difusión espacial de este uso.

- Se puede decir que la densidad de superficie comercial, como una aproximación a la localización de dicha actividad, está fuertemente condicionada a la funcionalidad de la actividad de compras que se desarrolla en ella. El año 2001 se verifica una fuerte relación con la densidad residencial, la que deja de ser significativa el año 2006. Entonces, para el año 2001 la densidad comercial está fuertemente enfocada hacia la densidad residencial, y la variable funcional más significativa es la intensidad media (densidad promedio de personas comprando entre las 9:00 y 21:00hrs). También se incluye el modo de acceso, preferentemente en transporte público, el que permite mayor flujos de personas, en comparación con la caminata y el transporte privado. El año 2006, la explicación de la superficie comercial se reduce sólo a la variable funcional de intensidad media, como la variable determinante del espacio requerido.

Al igual que en el modelo educacional, la variación de la densidad comercial abandona toda relación con la funcionalidad de la actividad, y se centra principalmente en la variación de la densidad residencial, y con menos significancia en la variación de la densidad de servicios. Como se puede ver, se asocia a la variación de la demanda directa (residencia), e indirecta (servicios).



Por último, e independientemente de todo lo anterior, la densidad de superficie comercial también presenta un mecanismo propio de difusión espacial, de intensidad creciente en el período 2001-2006.

- Se puede decir que la densidad de superficie de servicios, como una aproximación a la localización de dicha actividad, está fuertemente condicionada a la funcionalidad de las actividades personales desarrolladas en ella, y a la demanda indirecta que surge de la asociación con los usos de ocio y recreación (sin establecer causalidad en dicha relación). La variable de la funcionalidad de las actividades personales que influye directamente y significativamente en la densidad de servicios corresponde exclusivamente a la intensidad media (densidad promedio de personas en actividades personales entre las 9:00 y 21:00hrs).

Al igual que en el modelo de superficie comercial y educacional, la variación de la densidad de servicios abandona toda relación con la funcionalidad de las actividades personales, y se centra principalmente en la variación de la densidad de actividades de ocio y recreación, y con menos significancia la variación de la superficie residencial. Nuevamente se aprecia la asociación a la demanda directa (residencia), e indirecta (ocio y recreación).

Por último, e independientemente de todo lo anterior, la densidad de superficie de servicios también cuenta con un mecanismo propio de difusión espacial, de intensidad decreciente en el período 2001-2006.

- Se puede decir que la densidad de superficie de actividades de ocio y recreación, como una aproximación a la localización de dicha actividad, está condicionada en primer lugar a la asociación espacial con la densidad de servicios (demanda indirecta), y en segundo lugar a la funcionalidad de las actividades de ocio y recreación desarrolladas en ella. La variable de funcionalidad de las actividades de ocio y recreación asociada significativamente a la densidad de superficies de ocio y recreación es exclusivamente la intensidad media (densidad promedio de personas en actividades ocio y recreación entre las 9:00 y 21:00hrs).

El modelo de variación de la densidad de superficie de ocio y recreación, incluye la variable funcional de variación de la intensidad media, además de la variación de la densidad de servicios. Lo anterior muestra la alta sensibilidad de esta actividad no sólo a los generadores de demanda indirecta, sino que también a la demanda real capturada, en términos de factibilidad económica de la actividad. Es así que se podría pensar que las actividades de ocio y recreación, en general, no presentan una demanda directa reconocible, siendo la demanda indirecta, inducida por otras actividades, la que se transforma en demanda real (intensidad) sobre la cual se basa la factibilidad del negocio, y por ende su requerimiento de superficie construida.

Por último, e independientemente de todo lo anterior, la densidad de superficie de ocio y recreación también cuenta con un mecanismo propio de difusión espacial, que puede ser visto como un factor de auto-economía de aglomeración (especialización de los barrios, enfocados a la cooperación y no a la competencia).

## Referencias

- [1] **CERDA, Jorge & MARMOLEJO, Carlos** (2010) De la accesibilidad a la funcionalidad del territorio: una nueva dimensión para entender la estructura urbana residencial de las áreas metropolitanas de Santiago (Chile) y Barcelona (España). *Revista de Geografía, Norte Grande*. [online], N° 46, pp 5-27. ISSN 0718-3402 versión en línea, ISSN 0379-8682 versión impresa, doi: 10.4067/S0718-34022010000200001. Disponible en: [http://www.geo.puc.cl/html/revista/PDF/RGNG\\_N46/art01.pdf](http://www.geo.puc.cl/html/revista/PDF/RGNG_N46/art01.pdf)
- [2] **MARMOLEJO, Carlos & CERDA, Jorge** (2012) La densidad-tiempo: otra perspectiva de análisis de la estructura metropolitana. Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. [En línea]. Barcelona: Universidad de Barcelona, 20 de mayo de 2012, vol. XVI, nº 402. <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-402.htm>. [ISSN: 1138-9788]